

# Klímaváltozás hatásai fenológiai folyamatokra

## *Climate change effects for phenological processes*

Dede Lilla<sup>1</sup>

### INFO

Received 19 Oct. 2010

Accepted 09 Dec. 2010

Available on-line 21 Dec. 2010

Responsible Editor: K. Rajkai

### Keywords:

climate change, phenology,  
geophyton plants

### ABSTRACT

Climate change may shift dates of phenological phase of plants. We can even demonstrate changes in plant growth due to climate change by model simulations. Earth warming will accelerate appearance of the phenological phases earlier. However, not only temperature can affect on that, but some other meteorological factors as well.

The theoretical implications of climate change is the main goal of the present work using strategic modeling and a 140 years long temperature data set. Analysis of the Geophyton Phenology Database of the ELTE Botanical Garden is also made for 24 meteorological factors' effect on the first bud appearance, the beginning of flowering, and the end of flowering. The found regression models show the relationships between phenological phase' dates and meteorological factors.

Finally, the rising temperatures are variously influencing phenological dates of selected species involved a Theoretical ecosystem. The daily fluctuation of temperature and the frosty day number are strongly influence geophyton plants and their phenological phase' dates.

### INFO

Beérkezés 2010 Okt. 19.

Elfogadás 2010 Dec. 09.

On-line elérés 2010 Dec. 21.

Felelős szerkesztő: Rajkai K

### Kulcsszavak:

klímaváltozás, fenológia,  
geophyton növények

### ÖSSZEFOGLALÓ

A klímaváltozás hatással van a fenofázisok időpontjára. Modellek és adatok elemzésével bemutatható, hogy klíma változásával a növények fejlődési üteme is változik. A hőmérséklet növekedése hatására a fenofázisok az évről évre korábbi időpontra tolódhatnak. Azonban nem csak a hőmérséklet hat a fenofázisra, hanem egyéb meteorológiai tényezők is. Stratégiai modellezéssel a klímaváltozás lehetséges következményeinek a bemutatása a jelen munka célja, amelyhez 140 éves hőmérsékleti adatsort használtam fel. Az ELTE Botanikus Kertjének Geofiton Fenológiai Adatbázisa alapján 24 meteorológiai tényező hatását a vizsgált növények fenofázisa, - így az első bimbó megjelenése, a virágzás kezdete és a virágzás vége - idejére, valamint a regressziós modellekkel jellemeztem a meteorológiai tényezők és a fenofázisok bekövetkezése közötti kapcsolatokat. Megállapítottam, hogy a hőmérséklet emelkedése különféleképpen befolyásolja az „elméleti ökoszisztéma fajok” kiválasztott fenofázisának időpontját. Kimutattam, hogy a hagymás-gumós növények fejlődésére leginkább a hőmérséklet napi ingadozása, valamint a fagyos napok száma hat jelentősen.

## 1. Bevezetés

A klímaváltozás korunk egyik legfontosabb és legnagyobb hatású ökológiai problémája. Fontosságát és hatását az adja, hogy a globális társadalom egészének létfeltételeit érinti. A klímaváltozással kapcsolatos kihívások és az ehhez kapcsolódó feladataink a társadalom és a gazdaság szinte minden szegmensét alapvetően meghatározzák. A klímapolitika magában foglalja többek között a mezőgazdaság és élelmiszertermelés, a tájhasználat, az energetika, az ipar és közlekedés, a környezet- és természetvédelem, a közegészségügy számos kérdését, de szociológiai, oktatási, kommunikációs, sőt biztonságpolitikai és külpolitikai vonatkozásai is vannak. A klíma változékonysága, tehát a hosszabb időintervallumokban

<sup>1</sup>Dede Lilla

Budapesti Corvinus Egyetem, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

[lilladede@gmail.com](mailto:lilladede@gmail.com)

megnyilvánuló klímastabilitás hiánya (és annak mértéke) meghatározó jelentőségű valamennyi földi ökoszisztéma állapota és állapotváltozásai szempontjából. A klíma változékonyságának mértéke (klímáparaméterek alakulásának együttes variabilitása) önmagában is jelentős heterogenitást mutat úgy térben (regionálisan), mint időben (vizsgálati időablakok szerint). Az ökoszisztémák, mint szabályozási folyamatokra képes rendszerek, ráadásul nem egyszerűen passzív „elszenvedői” a hatásoknak, hanem azokra különböző mértékű és jellegű alkalmazkodással, visszacsatolással reagálnak.

A klímaváltozás legkorábban megfigyelt és később is szisztematikusan monitorozott hatása a növények és állatok fenológiájában (azaz fenofázisaik egymásra következői rendjének időzítésében) bekövetkezett jól felismerhető változások voltak (Ferenczy et al 2010). Ennek ellenére még mindig nem tudunk eleget arról, hogy melyek azok a környezeti tényezők a természetben, amelyek az egyes fenofázisok bekövetkezését indukálják és a reprodukciós ciklusokat befolyásolják az egyes fajok esetében. Bár ismeretes, hogy nemcsak a megnövekedett szén-dioxid miatt megváltozó időjárás, de maga a széndioxid szint is komoly hatással lehet például a virágzás idejére egyes növényeknél (Houghton 1995). Európa szerte számos biológus tanulmányozta már a fenológiában bekövetkező változásokat és megfigyelték, hogy bizonyos fajoknál a rügyfakadás 5-6 nappal korábban kezdődött a szokásosnál, míg az őszi lombszíneződés például akár 4-8 nappal is későbbre tolódott. (Menzel 1999). Abu-Asab és munkatársai (2001) a virágzás első időpontjainak változásait vizsgálták egy 21 éves időszakban (1970 és 1990 között), eredményeik rámutatnak, hogy 44 zárvatermő család 100 fajtát tekintve a fák többsége 3-5 nappal korábban virágzott az időszak végén, mint az elején. A tavaszi virágzás egyre korábbi kezdetét bizonyítja Primack és munkatársainak (2007) kutatási eredményei is, amelyek szerint, az USA-beli Massachusetts Államban a február-május közötti átlag hőmérséklet 1°C-os emelkedése közel 4 nappal korábbi virágzást eredményez, így most átlagosan 11 nappal korábban virágzanak, mint egy évszázaddal korábban. Sherry et al (2007) kutatásai viszont arra is rámutatnak, hogy csak azoknak a fajoknak a virágzása tolódik előbbre, amik a nyári hőség tetőzése előtt virágzanak, a későbbiek virágzása kifejezetten késik. Az amerikai magasfüves puszták növényei esetében a fentieknek megfelelően a korai fajok átlagosan 7.6 nappal korábban, a késői fajok 4.7 nappal később virágzanak, így középen egy nyílás keletkezik a társulás virágzás-dinamikájának szezonálisitásában. Fentiekből is látható, hogy az ökológiai alapjelenségek közül a klímaváltozás legerőteljesebben a szezonális közösségdinamikát és annak egyik fontos tényezőjét az egyes fajok fenológiai viszonyait formálja át (Schwartz 2003, Vadadi et al 2008).

A klímaváltozás hatással van a különféle fenológiai folyamatok időpontjára is. A TEGM (Theoretical Ecosystem Growth Model) modell segítségével tudom szemléltetni, hogy a modellben szereplő elméleti ökoszisztéma fajainak egy kiválasztott, számszerűsített fenofázisának időpontja hogyan változik a hőmérséklet emelkedés hatására.

Az ELTE Botanikus Kertjének Geofiton Adatbázisa a főként hagymás gumós növények tavaszi fenofázisainak megjelenésének időpontját tartalmazza, aminek összegyűjtése Dr. Priszter Szaniszlónak köszönhető. Az adatbázis egy részének digitalizálása után meteorológiai paraméterekkel való összefüggéseit vizsgáltam meg.

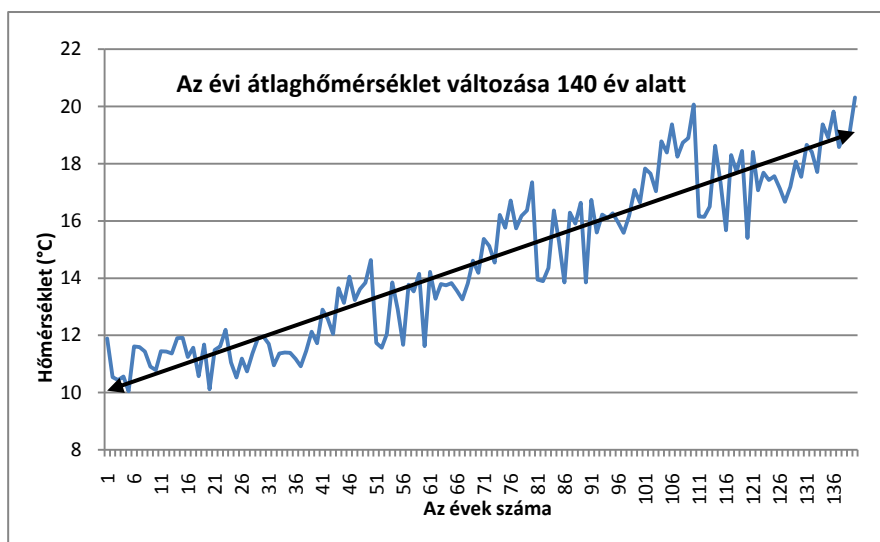
Célkitűzéseim a következők:

- A stratégiai modellezés során kívánom bemutatni a klímaváltozás elméleti következményeit.
- A geofiton adatbázis alapján szeretném megmutatni, hogy milyen meteorológiai tényezők vannak hatással a vizsgált növények fenofázisának időpontjára.
- A regressziós modellekkel pedig azt akartam megvizsgálni, hogy milyen módon jellemezhető a meteorológiai tényezők és a fenofázisok bekövetkezése közötti kapcsolat.

## 2. Anyag és módszer

Első esetben TEGM növekedési modell (Hufnagel és mtsai, 2008.) segítségével és egy 140 éves adatsorral végeztem vizsgálatokat. A stratégiai modell egy elméleti ökoszisztémát tartalmaz, amelyben 33 faj található. Ezek közül a fajok közül 2 szupergeneralista, 5 generalista, 9 közepes generalista és 17

specialista. A fajok abban térnek el egymástól, hogy mekkora a szaporodási rátájuk hőmérsékleti reakciógörbéjének optima és a tolerancia tartomány szélessége. A fajok hőmérsékleti érzékenységüknek megfelelően szűkebb (specialista) vagy szélesebb (generalista) intervallumban képesek a fajfenntartásra. A fajok hőmérsékleti optimum görbéjének leírására a Gauss- eloszlást használjuk úgy, hogy a hőmérsékleti optimum a várható érték. A szórás értékét úgy állítjuk be, hogy az egyes fajok közötti niche átfedés megfeleljen a Pianka, (1974) által tanulmányozott niche átfedési értékekkel, ahol a teljes niche átfedés átlaga csökkent a fajok számának a növekedésével. Nevük egy nagybetűből áll (kivéve a szupergeneralistákat, amiket csak egy szám jelöl), ami azt mutatja meg, hogy melyik fajtacsoportba tartozik, és egy számból, ami minél nagyobb annál magasabb hőmérsékleti tartományban van a növekedési optima. Az adatsor 1961-től 2100-ig tartalmazott historikus és jövődönt napi hőmérsékleti adatokat °C-ban. 1961-2000-ig az adatsor historikus adatokat tartalmaz. Az 1970-től 2100-ig terjedő időszakra Hadley Centre A2 scenárió szerinti output adatokat, a két időszak között pedig klímagenerátorral interpolált adatokat tartalmaz. A modellhez használt adatsorban az évi átlaghőmérséklet növekedését mutatja az 1. ábra. A trendvonal segítségével látható, hogy átlagosan körülbelül 9 °C-kal nő a hőmérséklet. Ezeket az adatokat átszámoltam Kelvinbe és így használtam fel a Növekedési modellben. A kapott értékek pedig egyes fajok esetén azt mutatták meg, hogy az adott hőmérsékleti értékeknél milyen sebességgel fejlődik a növény. Ez egy hőösszegben mért idő. Az elemzések során pedig egy bizonyos fejlődési állapotot tekintettem fenofázisnak. Mikor a fejlődése meghaladta az 50-es értéket, azon a napon érte el a vizsgált fejlettséget.



**1. ábra.** Az évi átlaghőmérséklet alakulása 1961-től 2100-ig

A vonaldiagramokat MS Excel program segítségével végeztem.

Az ELTE Botanikus Kertjének Geofiton Fenológiai Adatbázisát felhasználva végeztem adatelemzéseket. 40 évre visszamenőleg tartalmaz fenológiai adatokat több száz főként hagymás és gumós növényről. Ezeket az időpontokat Dr. Priszter Szaniszló jegyezte fel a saját kertjében nevelt növényeket megfigyelve. Nekem az 1979-85 és 1991-1997-es intervallumban elhelyezkedő éveket sikerült ebből feldolgoznom. Az adatbázis tartalmazta a növények első bimbójának megjelenésének időpontját, valamint a virágzás elejét és a virág elszáradásának az idejét. Azt vizsgáltam meg, hogy mely meteorológiai tényezők vannak hatással ezeknek a fenofázisok megjelenésének idejére.

A fenológiai paraméterek alakulásának időjárással való kapcsolatát vizsgálva kétféle megközelítést alkalmaztunk:

Első megközelítésként külön-külön vizsgáltam az egyes fenológiai indikátorok és az időjárási paraméterek korrelációs kapcsolatát. Ebből a célból egy 24 elemű meteorológiai paraméter vektort készítettünk az adott növény aktuális évi, vizsgált fenológiai állapotváltozását megadó, a megelőző év augusztus 28-tól (szökőévben augusztus 27-től) az aktuális fenológiai változásig terjedő időszakáról. A Szász Gábor-féle algoritmus alapján (Szász Gábor 1968) meghatároztuk a napi globális sugárzási értéket is. Ez az eljárás a napi napfényes órák számából számítja ki a napi globális sugárzási értéket ( $W/m^2$ ). A következő származtatott meteorológiai paramétereket számítottuk ki:

- 1. napi globális sugárzások átlaga,
- 2. napi átlaghőmérsékletek átlaga,
- 3. napi maximális hőmérsékletek átlaga,
- 4. napi minimális hőmérsékletek átlaga,
- 5. csapadék összeg,
- 6. napfényes órák összege,
- 7. napfényes órák napi átlaga,
- 8. csapadékos napok száma,
- 9. valódi csapadékos napok száma (csapadéknym nem számít bele),
- 10. 10 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 11. 9 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 12. 8 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 13. 7 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 14. 6 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 15. 5 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 16. 4 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 17. 3 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 18. 2 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 19. 1 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 20. 0 °C foknál magasabb átlaghőmérsékletek összege,
- 21. napi ingadozások (maximum-minimum) átlaga,
- 22. a csapadék relatív szórása a csapadékos napokra,
- 23. a fagyos napok száma,
- 24. a nem negatív napi átlaghőmérsékletek összege az utolsó fagyos nap utáni naptól a fenofázis megjelenésének napjáig.

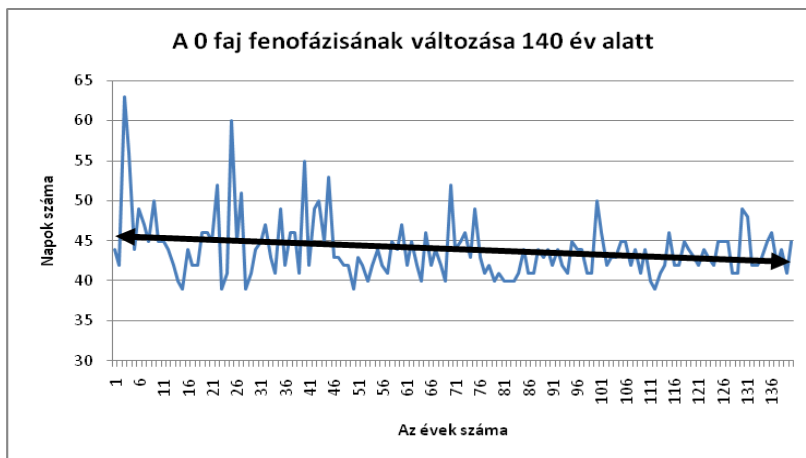
Az így megkapott meteorológiai indikátorok felhasználásával korrelációs vizsgálatokat végeztem a geofiton fenológiai adatbázisunkban található fenofázis bekövetkezésekre a különböző vizsgálati években. Munkámhoz a PAST statisztikai programcsomag (Hammer et al 2001) lehetőségeit is felhasználtam (Dede et al. 2009).

Második megközelítésben először a Past nevű statisztikai program segítségével megnéztem, hogy az évek során a napsorszámok változása esetén mely tényezőkkel kapok erősebb korrelációt. Miután ezeket feljegyeztem, majd az Excel programban egy modellt írtam fel 2-3 optimális paraméterek additív hatására, az MS Excel Solver programjának segítségével optimalizáltam, majd az így kapott értékeket visszamásoltam a Past-ba és megnéztem, hogy a napsorszámokkal milyen erős lineáris kapcsolatot kapok. Addig változtattam meg a tényezők kombinációját egy fázis esetében, míg a

legmagasabb R értéket (a determinisztikus együttható értéke) nem kaptam, tehát amíg meg nem találtam a legnagyobb magyarázó erejű modelleket az egyes fenológiai indikátorokra. Az ábrákon az x tengelyen a fázisok napszámát tartalmazza, míg az y tengely a meteorológiai paraméterekkel kapott értékeket. 3. Eredmények és megvitatásuk

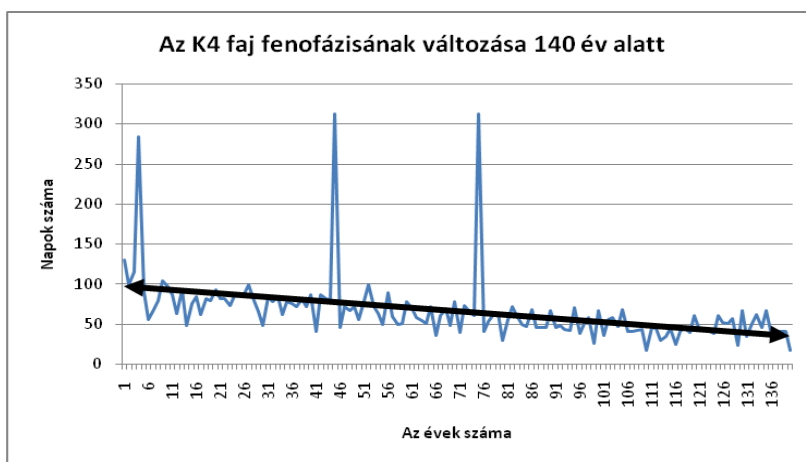
### 3.1. Stratégiai vizsgálatok során kapott eredmények

A modellezés során kapott eredményeim közül, melyeket a diplomamunkám tartalmaz, csak néhány diagramot szeretnék itt bemutatni. Ezeknél az ábráknál mind a 140 évben megfigyeltem, mikor hozza a kiválasztott, számszerűsített fenofázist (50-értékű fejlettségi állapotot), így négy különféle diagram típust kaptam:



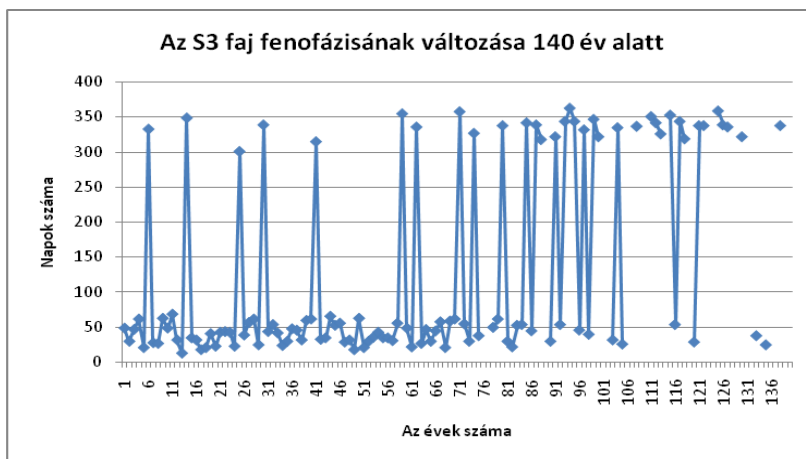
**2. ábra.** A 0-s szupergeneralista faj fenofázisának alakulása az évek száma és az 50-es fenofázishoz szükséges napok száma alapján

A 0 szupergeneralista faj (2. ábra) fenofázisa a vizsgált 140 év során átlagosan korábbra tolódik, rendszeresebbé válik, nem lesz két év között jelentős különbség a napok számát illetően. Ugyan ez elmondható a másik szupergeneralista és a generalista fajokra is.



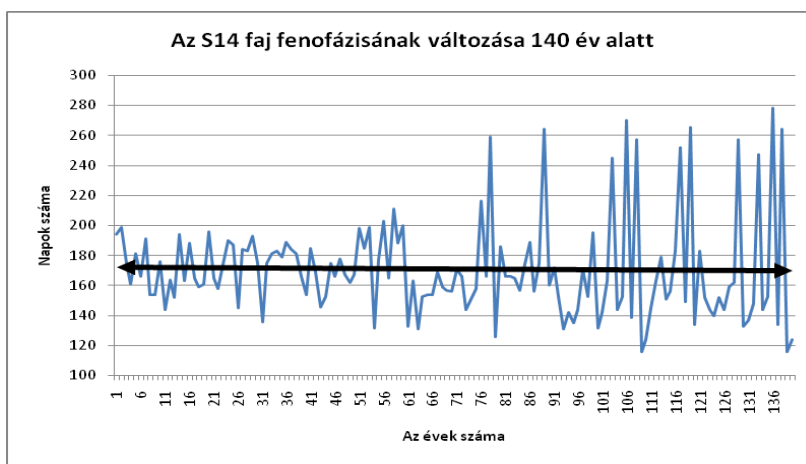
**3. ábra.** A K4-es közepes, közepes hőtűrésű faj fenofázisának alakulása az évek száma és az 50-es fenofázishoz szükséges napok száma alapján

A 3. ábrán egy közepes fajt láthatunk, aminél egyértelműen látható a napok számának csökkenése, csak néhány alkalommal voltak kiugró értékek.



**4. ábra.** Az S3-es specialista, hideg kedvelő faj fenofázisának alakulása az évek száma és az 50-es fenofázishoz szükséges napok száma alapján

A 4. ábra egy hideg kedvelő specialista fajt mutat be. A diagramon látható, hogy míg kezdetben viszonylag rendszeresen hozza a fázist, addig a későbbiekben már nem lesz képes elérni a vizsgált fejlődési állapotot.



**5. ábra.** Az S14-es specialista, meleg kedvelő faj fenofázisának alakulása az évek száma és az 50-es fenofázishoz szükséges napok száma alapján

Az 5. ábrán egy melegkedvelő specialista fajt láthatunk. A vizsgált időszak második felében rendszertelenebbé válik a fázis elérése, hol nagyon korán, hol nagyon későn éri el a fejlődési állapotot. Eközben a trendvonal egyenes, tehát az időpontok átlaga nem változik.

### 3.2. A geophyton adatbázis feldolgozása alatt kapott elsődleges eredmények

88 növényfaj fenofázisainak időpontjai és a meteorológiai paraméterek közti összefüggést számítottuk, melyek a következő kapcsolati képet mutatják, amelyet az 1. táblázat mutat be.

A táblázatban a sorok a számított meteorológia jellemzőket képviselik, az oszlopok közül az első hat a három fenológiai változást (első bimbó megjelenése, virágzás kezdete, virágzás vége) két-két oszloppal, melyek közül az első a 95 %-os szinten való elfogadást, a második pedig a 90 %-os szinten való elfogadást jelenti. Megpróbáltunk egyfajta mérőszámot konstruálni oly módon, hogy a teljes elfogadást jelentő baloldali értékeket kettő, az elfogadás közelébe jutást jelentő jobboldali szereplést egy ponttal értékeltük, és ezek összegét az értékelt növényfajok (bal felső szám) hatszorosával osztottuk, hiszen egy



növényfaj három fenológiai változás szerint kaphat pontszámot. Az egyes általunk vizsgált meteorológiai paraméterek fenológiában betöltött szerepét, annak erősségét a G-index fejezi ki.

A táblázatban a legnagyobb elfogadási értékeket a 21-es sorszámú napi hőmérsékletingadozás, a 23-as sorszámú fagyos napok száma és a 4-es sorszámú napi minimum hőmérsékletek átlaga mutatnak.

**1. táblázat** Fenológiai változások és meteorológiai paraméterek korrelációs kapcsolatát összegző eredménytáblázat, melyben az első oszlop a paramétereket, az utolsó oszlop pedig a korreláció erősségét mutatja, a közbülső három oszlop pedig a három vizsgált fenofázist jelöli

88	F105	F110	F205	F210	F305	F310	G-index
met01	21	4	27	6	18	6	0,2803
met02	35	12	26	11	13	9	0,3409
met03	36	10	24	9	11	3	0,3106
met04	32	12	28	19	13	13	0,3598
met05	3	2	2	4	3	2	0,0455
met06	30	7	19	14	15	8	0,2973
met07	4	3	2	1	3	3	0,0473
met08	27	10	5	7	3	4	0,1723
met09	10	7	19	10	23	14	0,2557
met10	9	11	5	2	9	4	0,1193
met11	16	5	5	2	12	1	0,1402
met12	19	5	6	3	12	3	0,1610
met13	20	6	7	3	13	5	0,1780
met14	21	5	8	1	12	3	0,1723
met15	21	6	8	1	11	3	0,1705
met16	23	3	8	2	11	3	0,1742
met17	23	3	9	1	11	4	0,1780
met18	23	2	9	1	10	5	0,1742
met19	23	2	9		9	5	0,1686
met20	24	2	7	2	9	5	0,1686
met21	80	3	66	6	64	7	0,8258
met22	2	7	2	6	3	2	0,0549
met23	58	8	50	9	20	15	0,5455
met24	12	9	13	4	11	6	0,1723

### 3.3. Regressziós modellek eredménye

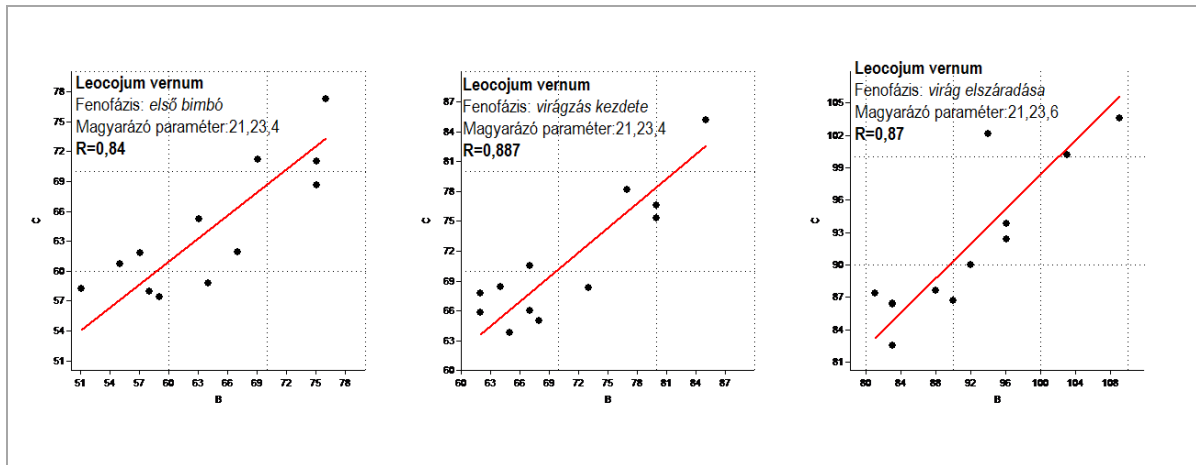
A geofita növények, a Paeonia fajok és a 24 féle meteorológiai paraméter lineáris regresszióval való vizsgálata során kapott néhány eredményt mutatnák be:

Leocojum vernum

A Leocojum vernum (6. ábra) első bimbójának megjelenését a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a fagyos napok száma és a napi minimális hőmérséklet átlagának (21, 23, 4) kombinációja befolyásolja  $R=0,84$  értékkel. A virágzás kezdetében a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a fagyos napok száma és a napi minimális hőmérsékletek átlagának (21, 23, 4) kombinációja van hatással  $R=0,887$  értékkel. A virágzás befejezésében a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a fagyos napok száma és a napfényes órák összegének (21, 23, 6) a kombinációja vesz részt  $R=0,87$  értékben.

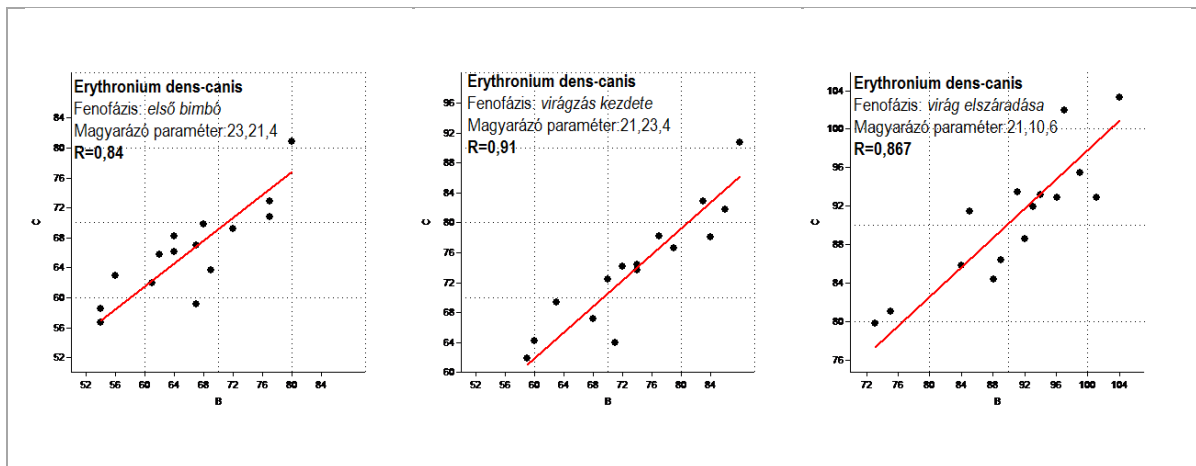
A Solver program segítségével kapott modellek:

- Első bimbó megjelenése:  $(\text{met23}) \cdot 0,26 + (\text{met21}) \cdot 16,03 + (\text{met4}) \cdot 0,674$
- Virágzás kezdete:  $(\text{met23}) \cdot 0,286 + (\text{met21}) \cdot 16,31 + (\text{met4}) \cdot 1,348$
- Virágzás vége:  $(\text{met23}) \cdot 0,17 + (\text{met21}) \cdot 11,3 + (\text{met6}) \cdot 0,0546$



6. ábra. Meteorológiai paraméterekből számolt lineáris kombináció és az általuk modellezett fenológiai fázis bekövetkezési ideje közötti kapcsolatok a *Leucojum vernum* esetében

*Erythronium dens-canis*



7. ábra. Meteorológiai paraméterekből számolt lineáris kombináció és az általuk modellezett fenológiai fázis bekövetkezési ideje közötti kapcsolatok az *Erythronium dens-canis* esetében

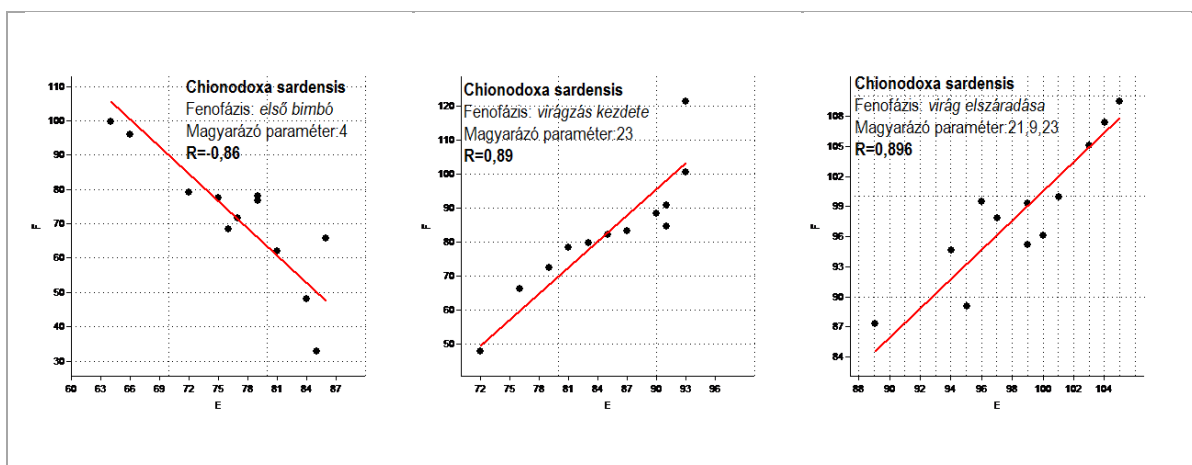
Az *Erythronium dens-canis* (7. ábra) első bimbójának megjelenését a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a fagyos napok száma és a napi minimum hőmérséklet átlagának kombinációja befolyásolja (23, 21 és 4)  $R=0,84$  értékkel. A virágzás kezdetében a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a fagyos napok száma és a napi minimum hőmérséklet átlagának (21, 23 és 4) a kombinációja van hatással  $R=0,91$  értékkel. A virágzás befejezésében a napi hőmérséklet ingadozások átlaga, a 10 °C feletti hőmérséklet átlaga és napfényes órák összegének (21, 10 és 6) a kombinációja vesz részt  $R=0,867$  értékben.

A Solver program segítségével kapott modellek:

- Első bimbó megjelenése:  $(\text{met}4)*2,38+(\text{met}21)*7,9+(\text{met}23)*0,425$
- Virágzás kezdete:  $(\text{met}4)*1,335+(\text{met}21)*10,43+(\text{met}23)*0,4$
- Virágzás vége:  $(\text{met}6)*0,017+(\text{met}21)*13,15+(\text{met}10)*0,045$



## Chionodoxa sardensis



8. ábra Meteorológiai paraméterekből számolt lineáris kombináció és az általuk modellezett fenológiai fázis bekövetkezési ideje közötti kapcsolatok a *Chionodoxa sardensis* esetében

A *Chionodoxa sardensis* (8. ábra) első bimbójának megjelenését a napi minimális hőmérséklet átlaga (4) befolyásolja  $R = -0,86$  értékkel. A virágzás kezdetében a fagyos napok száma (23) van hatással  $R = 0,89$  értékkel. A virágzás befejezésében a napi hőmérsékletek ingadozásának átlaga, a valódi csapadékos napok száma és a fagyos napok számának (21, 9, 23) kombinációja vesz részt  $R = 0,896$  értékben.

A Solver program segítségével kapott modellek:

- Első bimbó megjelenése:  $(\text{met}4) * 22,14$
- Virágzás kezdete:  $(\text{met}23) * 1,223$
- Virágzás vége:  $(\text{met}21) * 20,938 + (\text{met}9) * 0,24 + (\text{met}23) * 0,0786$

#### 4. Konklúzió

A modell segítségével lehetségessé válik feltérképezni, hogy adott földrajzi környezetben az élőlény-közösségek egyes összetevői milyen irányú változásokkal reagálhatnak a várható felmelegedésre. A Stratégiai modell elméleti ökoszisztéma fajainak viselkedését tanulmányozva arra jutottam, hogy a globális felmelegedés hatását a fenofázisok idejére nem minden esetben lehet lineáris függvénnyel bemutatni. Van, hogy úgy hat a fajokra a hőmérséklet változása, hogy az évek közötti különbség az időpontok között megnő, vagy épp lecsökken. Vagy épp abban nyilvánul meg, hogy egyre több alkalommal képtelen elérni a vizsgált fejlődési szintet.

A teljes éves ciklusra számított időjárási paraméterek és a geofita növények virágzási fázisainak korrelációját vizsgálva az egynyári növényeknél általánosan használt hőösszeg helyett, a változékonyságot, hideget jelző paraméterek (napi hőmérsékletingadozás, a fagyos napok száma és a napi minimális hőmérsékletek átlaga) jelentőségét mutattuk ki. Ezek az eredmények rámutatnak az alkalmazott módszer hasznosságára, de ezen túl arra is, hogy a különböző növények különböző fenofázisaira más-más tényezők gyakorolnak jelentős hatást.

A meteorológiai paraméterek pedig nem csak külön-külön lehetnek hatással a fenofázisok időpontjára, ugyanis magasabb értékeket kapunk, ha több tényező hatását összeadjuk.

Eredményeink alátámasztják azt az álláspontot, miszerint az időjárással összefüggő ökológiai kutatások így különösen a klímaváltozási vizsgálatok során különös figyelmet kell fordítani a szezonális dinamikai és azon belül a fenológiai jelenségeknek (Schwartz 2003, Hufnagel és Gaál 2005, Sipkay et al 2007, Drégely-Kiss et al 2008), mert azok kiváló indikátorai lehetnek a változásoknak és a változékonyságnak

is. Vizsgálataink rámutatnak az integrált adatbázisok fejlesztésének fontosságára is, amelynek különösen a klímaváltozási projektek kapcsán van kiemelkedő jelentősége (Szenteleki et al 2007).

### Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a sok segítséget és odafigyelést a munkámmal kapcsolatban konzulensemnek Dr. Hufnagel Leventének, a témavezetőmnek Dr. Ferenczy Antalnak valamint a Matematika és Informatika Tanszék munkatársainak. Szeretnék még köszönetet mondani Isépy Istvánnak és az ELTE Botanikus kert munkatársainak a geophyton adatbázissal kapcsolatos segítségnyújtásukért.

Munkámat az OTKA TS 049875 pályázat, a VAHAVA-projekt, az NKFH Jedlik Ányos program KLIMA-KKT-projektje, az MTA TKI Alkalmazkodás a Klímaváltozáshoz Kutatócsoportja, a BCE Kutató Asszisztens Ösztöndíj Pályázata, valamint az MTA Doktori Tanács Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta. Továbbá köszönöm Priszter Szaniszlónak, hogy munkámhoz sok évtizedes megfigyeléseit rögzítő adatbázisát rendelkezésemre bocsátotta. Utoljára, de nem utolsó sorban köszönöm Fodor Nándor algoritmusszerkesztő munkáját, amellyel a globális sugárzás Szász Gábor féle algoritmusának MS Excel alkalmazhatóságát lehetővé tette.

### Hivatkozások

Abu-Asab, M., Peterson, S., Stanwyn, P.M., Shelter, G. and Sylvia, S. Biodivers. Conserv., 2001, 10, 597-612.

Dede Lilla, Eppich Boglárka, Ferenczy Antal, Horváth Levente, Hufnagel Levente, Isépy István (2009): Történeti időjárási adatbázis alkalmazási lehetőségei, Agrárinformatika 209, Debrecen 2009. augusztus 26-27(in press)

Drégelyi-Kiss, Á., Drégelyi-Kiss, G., Hufnagel, L. (2008): Ecosystems as climate controllers – biotic feedbacks (a review) - Applied Ecology and Environmental Research 6(2): 111-135

Ferenczy A., Eppich B., Varga R., Bíró I., Kovács A., Petrányi G., Hirka A., Szabóky Cs., Isépy I., Priszter Sz., Türei D., Gimesi L., Hufnagel L. 2010 : Fenológiai jelenségek és meteorológiai indikátorok kapcsolatainak összehasonlító elemzése rovar és növény adatsorok alapján

Hammer, R., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.  
[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

Houghton, J., Meria, T., Fitho, L., Callender, G.B. and Harris, N (1995): The Science of Climate Change, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 55-67.

Hufnagel, L., Sipkay, Cs., Drégelyi-Kiss, Á., Farkas, E., Türei, D., Gergőcs, V., Petrányi, G., Baksa, A., Gimesi, L., Eppich, B., Dede, L., Horváth, L. (2008): Klímaváltozás, Biodiverzitás és közösségökológiai folyamatok kölcsönhatásai. In: Harnos, Zs, Csete, L. (szerk): Klímaváltozás: Környezet-Kockázat-Társadalom . –Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.

Hufnagel, L., Gaál, M. (2005): Seasonal dynamic pattern analysis in service of Climate Change Research – Applied Ecology and Environmental Research 3(1): 79-132.

Menzel, A and Fabian, P., Nature 1999, 397, 659-661.

Pianka, E. R. (1974): Niche overlap and diffuse competition, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol. 71., No. 5, pp. 2141-2145.

Primack, R.B., Miller-Rushing, A.j., Primack, D., and Mukunda, S. (2007): Using Photographs to Show the Effects of Climate Change on Flowering Times, Arnoldia, 65: 3-9.

Schwartz, M.D. (ed) (2003) Phenology: An Integrative Environmental Science – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.

Schwartz, M.D. (ed) (2003) Phenology: An Integrative Environmental Science – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.

- Sherry, R.A., Zhou, X., Gu, S. (2007): Divergence of reproductive phenology under climate warming, PNAS 104(1): 198-202
- Sipkay, Cs., Hufnagel, L., Révész, A., Petrányi, G. (2007): Seasonal dynamics of an aquatic macroinvertebrate assembly (Hydrobiological case study of Lake Balaton No. 2) - Applied Ecology and Environmental Research 5(2):63-78
- Szász Gábor (1968) A globális sugárzás összegeinek meghatározása számítás útján. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei XIV, 239-253.
- Szenteleki, K., M. Ladányi, É. Szabó, L. Horváth, L. Hufnagel and A. Révész (2007) A climate research database management software EFITA/WCCA 2 – 5 July 2007, Glasgow, Scotland, Paper CD.ROM p 53.
- Vadadi-Fülöp, Cs., Hufnagel, L., Sipkay, Cs., Verasztó, Cs. (2008): Evaluation of climate change scenarios based on aquatic food web modelling - Applied Ecology and Environmental Research 6(1): 1-28